総 説

油脂の抽出装置

西 尾 公 男

千代田化工建設株式会社（東京都港区赤坂 3-3-3）

Continuous Solvent Extraction Plant of Vegetable Oil

Kimio NISHIO

Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co. Ltd. (3-3, 3-chōme, Akasaka, Minato-ku, Tokyo)

ま え が き

油脂の抽出という場合、油脂源から大別した植物性油脂と動物性油脂、採取法より大別した融出法（rendering）、圧搾法（pressing）溶剤抽出法（solvent extraction）および圧搾法と溶剤抽出法を結合した圧抽法（prepress-solvent extraction）があるが、ここでは油脂抽出の主体をなす植物性油脂の連続抽出装置に対象を絞り述べる。

説明の順序として、まず最近の植物油脂抽出装置の概観をし、続いて、連続抽出装置につき概説をしたあと、終わりに一昨年暮著者の会社で西独エキステクニク社（Extechnik 社）とカローザル抽出装置（Carrousel-extraction plant）につき技術提携したので、このカローザル抽出装置につき紹介したい。

1 最近の植物油脂抽出装置の概観

最近における植物油脂抽出装置を概観すると、国際的な競争の激化や労働力の不足、漸増する製品需要、とくに脱脂大豆消費の急増などの諸状況に対応し、合理化の急務から装置の連続化、自動化に加えとくに設備規模の大型化傾向が目立っている。

わが国でも昭和30年ころよりデスメット型（De Smet type）ロートセル型（Rotocel type）ルルギ型（Lurgi type）などの高性能連続抽出装置が相ついで導入される一方、国産でも千代田型、吉野型などの連続抽出装置が建設され大豆を中心として装置の連続化自動化が行なわれ、最近大豆については、特殊用途を除きほとんど連続化されるに至った。また昨年来大豆は需要漸増に伴う増設期にも当たり各社の設備投資企画が活発になっているようであるが、既設の設備の処理能力は一台当たり100-1000 t/日（大豆として）であるのに比し、今度は一台当たりの処理能力が1500 t/日（大豆として）という国際規模の大型設備が本年中に実現されるようである。

一方雑穀についても、需要の激増に伴う設備拡大に対

応し、原料またはプレスケーキの連続抽出が増加しており、ヌカの連続抽出（浸セキ型、貫流型ともに稼働している）、ゴマ、ヒマシの直接抽出、その他プレスケーキの連続抽出が行なわれるようになった。

こうした合理化とくに大型化の進展につれ、製造技術の面でも、抽出装置の進歩があることはいうまでもないが、しかし著者の知る範囲では、昭和30年当時に見られたような画期的なものは見当たらず、抽出装置の基本型は現今でも4-5年前とあまり変わらないようで、技術の方向は（1）従前の基本型を土台とした大型化、（2）多様な性質を持つ各雑穀のより経済的な連続抽出技術の開発のように思われる。

2 連続抽出装置

前項に述べた理由により、ここで述べることも旧聞に属することが多いが、わが国にとり主要な油脂原料を中心に、前処理工程-抽出工程につき、工程順に概説する。まずわが国における植物油脂原料の処理量を昭和35年および最近の2-3年につき概数を表-1¹⁾に示す。

表-1に見られるように、わが国の植物油脂原料中大豆の占める比率はきわめて大きく、ナタネ、サフラワー、ヌカなどがこれに続いている。ヌカは国内産の重要な油脂源で、対資源の利用度も順次上昇している。このほか綿実、ゴマ、パーム核などが処理されているが、これらの各原料の含油量および形状を示すと表-2のとおりである。また各原料の主採油法はつぎのとおり。

大豆；連続溶剤抽出法

ヌカ；連続または回分溶剤抽出法（連続が増加している）

その他；圧搾法または圧抽法であるがゴマについては連続式の直接抽出も行なわれているようである。

2-1 前処理工程^{2)~6)}

植物種子の抽出において、前処理操作は製品として得られる油脂および抽出カスの品質、油の収率、抽出操作

表-1 主要植物油原料処理量 (t/年)
() 内は油生産量 (t/年)

原 料	年	昭和 35 年	昭和 38 年	昭和 39 年
大 豆		940,556 (167,847)	1,191,829 (211,065)	1,244,774 (223,194)
ナ タ ネ		353,126 (98,163)	162,691 (60,871)	180,054 (62,791)
ヌ カ		233,562 (39,727)	277,683 (49,724)	357,146 (63,219)
綿 実		93,172 (18,051)	166,826 (30,717)	199,463 (36,161)
サ フ ラ ワ ー		88,206 (31,455)	159,330 (55,496)	220,326 (80,404)
ア マ ニ		104,006 (38,363)	95,778 (35,552)	98,540 (37,099)
コ プ ラ		88,237 (55,989)	105,401 (67,765)	92,684 (59,869)
パ ー ム 核		25,808 (12,912)	26,082 (12,790)	24,031 (11,711)
ゴ マ		10,738 (4,894)	16,321 (7,001)	19,781 (8,906)
ヒ マ シ		30,977 (13,520)	35,764 (16,164)	34,279 (14,903)
ヒ マ ワ リ		17,470 (6,032)	12,261 (8,992)	809 (333)

表-2 主要植物油原料の含油量および形状

種 類	含油量(wt%)	形 状
大 豆	18-20	球 (代表径 8-10 m/m)
ナ タ ネ	22-50	平ダ(楕)球(代表径 2-3 m/m)
ヌ カ	18-21	粉 末
綿 実	16-35 (種) 34-39 (核)	球 (代表径 3-5 m/m)
サフラワースード	34-35	米穀状(米穀大)
コ プ ラ	65-75(乾果肉)	
パ ー ム 核	46-57(乾核)	
ア マ ニ	28-44	
ゴ マ	35-56	平ダ球(代表径 2 m/m)
カ ボ ッ ク	20-25	球 (代表径 8-10 mm)

の難易に重大な影響を有している。前処理の方法は、油脂原料の性状によりまた抽出操作の種類により異なるが一般的には 図-1 および 図-2 に示す工程により行なわれる。図-1 に示すものは直接溶剤抽出の前処理を示し 図-2 は圧抽法につき示したものである。図に従い各操作の説明をする。

2・1・1 精 選 (cleaning)

油脂原料は多かれ少なかれキョウ雑物を含んでいる。キョウ雑物の種類は茎、葉、サヤ(莢)、土砂、チリ(塵)、異種子、その他鉄片などである。これらのキョウ雑物の混入は製品油および抽出カスの品質に大きな影響を及ぼすと同時に鉄片、土砂、チリなどの混入は粉碎、ロール、輸送機および抽出機などの寿命を左右するとともに連続操作の難易に影響するので充分除去しなければならない。

図-1

図-2

一般に鉄片などの金属類は、マグネチックセパレーターにより除去され、茎、葉、サヤ、土砂、ジンアイ(塵埃)その他のキョウ雑物は、フルイ分けと風選により除かれる。フルイ分けは通常振動フルイで行なわれるが、最近のものはフルイに風選設備を兼備し、これらのキョウ雑物除去も同時に行なうものが多い。また有害種子が混入している場合には、ディスクセパレーターを使用する場合もある。たとえば大豆原料に混入している朝顔の種子は、ディスクセパレーターで除去されることが多い。

2・1・2 脱皮(殻)(dehulling)

表-3 に示すように、多くの種子のカラ(殻)は、普通含油量が1%以下であるので、種子中でカラの占める割合の多い、綿実、ヒマワリ、ヒマシ、落花生などは、脱皮を行なうことが多い。これは含油量の少ない皮を除かずに抽出すれば、皮に油が吸収され、採油率が落ちたりカサ張るため処理能力が低下したり、また設備の摩耗などの不利があるためである。ただしアマ、エゴマ、ナタネ、ゴマなどの小さな種子の脱皮は一般に行なわない。

これらの原料は、それぞれ特定の脱皮(殻)機が使用されるが、綿実、ヒマワリ、落花生のような可トウ

表-3 各種種子の皮と実の割合ならびに油の分布

種 子 名	実	皮 (穀)	含 油 率		
			全種子	実	皮
(1) 通常脱皮するもの					
油シユロ (Oil palm)	25	75	—	48	—
ババスウ (Babasu)	9	91	—	67	—
油キリ (Tung nut)	60	40	30	50	—
カカオ (Cacao beans)	88	12	50	—	—
ヒマ (Castor beans)	70~80	20~30	40~50	—	—
綿実 (Cotton seed)	62	38	19	30	1~2
落花生 (Peanut)	75	25	38	50	0.5~1
ヒマワリ (Sunflower)	45~60	40~55	22~36	36~55	1~2
カボク (Kapus)	60	40	20~25	40	—
サフラワー (Safflower)	50	50	28~33	55~65	1.5~2
(2) 通常脱皮しないもの					
大 豆 (Soy bean)	93	7	18	—	0.6
ア マ (Flax seed)	57	43	—	58	22
ア サ (Hemp seed)	62	38	31	—	—
ナタネ (Rape seed)	82	18	42	—	—

(撓)性の皮を持つ中程度の大きさの種子には、円板型脱皮機 (disc huller) または棒型脱皮機 (bar-huller) が、用いられる。脱皮機にかける場合、種子は適度の水分を含むことが必要で水分が多ければ脱皮機に種子が詰り、うまく砕けず、乾燥し過ぎているときは、微粉末が極端に多くなり、後の操作の作業性を悪くし、能力低下をきたしやすい。脱皮後の実と皮 (穀) の分離は、振動フレイと風選により行なわれる。大豆については、外皮の部分は7%前後で小さく、また油の吸収性も少ないため、脱皮はほとんど行なわれなかったが、高タンパク脱脂大豆の需要が高まり、また脱皮による油およびレシチンの品質改善効果が認められ、抽出カスの用途によっては、脱皮される場合も多い。大豆の脱皮は、粗砕を行なうことにより皮を実からはぎ、アスピレーターで皮を分離するのが普通である。サフラワーは表-3に示すようにカラの占める割合が50%もありカラの油分も1.5~2.0%と低いし、外皮の除去法いかなるでも、脱脂大豆に匹敵する良質のカスが得られるので、脱皮設備の発達は大いに注目され、アメリカのパシフィック・ヴェジタブルオイル社が積極的に開発を行なっているようだ。

2.1.3 粗砕 (cracking), 粉碎 (crushing) および圧扁 (flaking)

圧搾法、溶剤抽出法いずれの場合でも、抽出原料の細胞膜をできるだけ破壊し、さらには破壊した細胞中の油が流出しやすいようにすることが望ましい。圧搾法の場合はこれを粉碎、圧扁、蒸煮で行なっている。溶剤抽出法の場合も圧搾法と同じような操作で行なっているが、溶剤抽出法の場合にはさらに溶剤と油の種子中での拡散距離を短縮し抽出速度を増加するため、またフレーク層中のミセラの貫流特性をよくすることが必要のため、微

粉末の少ない薄いフレークを作ることが必要である。

Coat および Wingard⁷⁾の研究によれば、フレークの残油率1% (溶剤を含まず、乾規準とする) に達するまでの抽出時間はつぎの関係式に従う。

$$T = KD^n$$

T; 抽出時間

D; フレーク厚み

K; 原料に固有の常数

n; 原料に固有の常数 (大豆フレークについては2.3~2.5)

上式のように、フレーク厚みを薄くすれば、抽出時間を短くでき、抽出機も比較的小型にすることができるので、薄いフレーク厚みが好ましいが、実操作では、圧扁機の性能、抽出カスの用途、フレークの機械的強度、フレーク層中のミセラの貫流特性などを考え最適の厚みを決めるとともに、できるだけ均一な厚みのフレークを作ることが大切である。

大豆の溶剤抽出では丸大豆をクラッシングロールで粗砕したのち、圧扁をするが、圧扁の前にコンディショニングを行ない。原料を温度 71~76°C、水分 10~11% に調整するのが普通である。圧扁の前に、加温するのは圧扁をしやすくするためであり、水分調整するのは薄く微粉末の少ない良質のフレークを得るためには適当な水分が必要で、もし乾燥し過ぎた種子ではうまくフレークにならず微粉末が多くなり抽出操作に悪影響を持つからである。各社の抽出機の場合、いずれも原料中の微粉末の含量を規定しているのが普通である。

フレークの厚みについてはアメリカでは一般に 0.2~0.3 mm、わが国では通常 0.3 mm 前後が使用されているが、ミソ、ショウ油などの醸造用原料として、抽出カスを使用する場合には 0.5 mm 以上にすることもあったという。

抽出装置の大型化に伴い、クラッキングロール、フレーキングロールの発達も著しく最近では一台で 300~400 t/日 の処理能力を有するものがあり厚みのバラツキも ±0.05 mm におさえることが可能といわれる。

コブラ、パーム核などの場合にはまずハンマームル、アトリションミルなどで粉碎を行ない 5~10 mm としたのち、さらに粉碎ロールにかけ 2~3 mm とし熱処理、乾燥後、エキスペラーにかけ搾油する。搾油後のプレスケーキを溶剤抽出する場合には、プレスケーキをプレーカーにかけ粗砕したのちフレーキングロールにかけフレークにしたものを抽出にかけるのが普通であるが、フレークにしないで粗砕したまま抽出にかける場合もある。フレークにする場合には微粉末の生成をできるだけ抑えることが必要で、フレーキングの前に、水分調整することが多い。

2.1.4 熱処理 (heat treating)

溶剤抽出では2.3の例外を除き蒸煮を行なわないが、

フレーキングロールの負荷を軽くすることおよび良好なフレークを得る目的のため加温と水分の調整を行なう。これらの操作をコンディショニングまたはテンパリングと呼び、スチームジャケット付の横(タテ)型円筒かくはん器、または、ロータリーキルン型の装置で行なうのが普通である。綿実その他高含油種子では溶剤抽出のときにも蒸煮の行なわれることがある(cooked meat process)。この場合には、まず 0.25 mm くらいの大きさに粉碎したのち温度 104~110°C、湿度 15~25% で 30~45 min 蒸煮し、仕上げ湿度は 10~14% とする。これをさらに蒸発冷却により表面を乾燥し、多孔性の粒子として(この操作を crisping と称する)溶剤抽出を行なうといわれる。

2.1.5 乾 燥 (drying)

大豆フレークの乾燥は、アメリカでは一般に行なわれない。フレッキングの前のコンディショニングで水分を10~11%に調整すれば抽出に関し、問題はないからである。しかしわが国では水溶性タンパク含量の高い脱脂大豆フレークを製造するなどの特殊性のため大豆フレークを乾燥することがある。この場合、乾燥後のフレーク水分は8~10%で、乾燥機には通気式バンド乾燥機の使われることが多い。

ヌカの場合は抽出前に乾燥が行なわれるのが普通である。これはヌカが微粉末で、溶剤抽出にかけける前に、原料加熱が必要で、同時に乾燥することにより、溶剤のヌカ層中への浸透を促進し、ミセラの貫流特性をよくすることができるからである。ヌカの乾燥には通常ジャケット付横型円筒かくはん乾燥機が使用されている。

2.2 抽出工程^{5)~10)}

抽出工程には普通、抽出 (extraction)、ミセラ蒸留 (miscella distillation)、抽出カスの脱溶剤 (meal desolventizing)、溶剤回収 (solvent recovery) の四つの工程が含まれる (図-3 参照)。連続抽出の場合はこれらを全体として一つのプロセスユニットにまとめ、原単位の低下、設置面積の縮小、運転の簡素化などを計っている。この4工程につき順に説明する。

図-3 抽出工程のブロックダイアグラム

2.2.1 抽 出 (extraction)

抽出に関する基礎的事項については、多くの報文^{5), 6)}があるので、ここではばき、主要連続抽出機について述べる。主要連続抽出機を型式別に分類すると、表-4のようである。

表-4 植物種子連續抽出裝置一覽表

黄 流 式	バスケット 型	堅 型	Bollman (独) French Oil Mill Machinery Co.(米)
		横 型	French Oil Mill (米)
		角 型	French Oil Mill (米)
	セ ル 式	円 型 (移動層)	Karusell (Extraktionstechnik 独) Rotocel (Blaw Knox 米)
		円 型 (固定層)	French Oil Mill (米)
	ベルトコン ベア型		De Smet (ベルギー) Lurgi (独)
	浸セキ式		
浸セキ式	スクリー コンベア式		Hildebrandt (独) Detrex (米) Crown (米) 鈴木式 (日)
	塔 式		Allis Chalmers (米) V.D. Anderson (米) Bonotto (米)
	バスケット 式		石 井 (日)
	遠心分離式		Sherwin-Williams
	セ ル 式		Kennedy (米)
	バスケット 式		Miag (独)
	バスケット・ ベルトコン ベア併用		千代田 L 型 (日)
黄 流 式	口過抽出法		Filtrex (Wurster & Sanger, 米)

表-4 に示すように、連続抽出機は貫流式 (percolation type)、浸セキ型 (immersion type)、および両者併用式の三つに大別される。ここで貫流式というのは spray-percolation の意味で固体層の上方から散布された溶剤が固体層中を重力で流下するものである。浸セキ式とは固体が溶剤中に浸セキするもので、両者併用式は貫流式と浸セキ式おのおのの欠点を補い長所を生かすため両型式を組み合わせたものである。貫流式と浸セキ式の優劣を示すと 表-5 のとおりであるが最近米国においては、浸セキ式は他の 2 者とくに貫流式に取って替わられつつあり、わが国のおもな連続抽出装置も、ほとんど貫流式である。これは、表-5 に示される浸セキ式の、抽出効率がよく、コンパクトであるという利点も、貫流式のミセラのロ過が容易であること、溶剤回収工程のユーティ

表-5 貫流式と浸セキ式連続抽出装置の比較

賞 流 式	浸 セ キ 式
1) ミセラ濃度が高い。	1) ミセラ濃度が低い(微粒子あるいはフレークが浮遊するため、あまり濃くない)
2) ミセラが清澄で、口過が簡単である。	2) ミセラに固型物混入が多く口過設備が大きくなる。
3) 抽出カスとミセラの分離が良好である。	3) 抽出カスとミセラの分離が悪い。
4) 抽出原料の破砕が少なく、均一なカスが得られる。	4) 抽出原料が破砕されやすく、カスが不均一である。
5) チャンネリングを起こしやすく、抽出効率が劣る。	5) チャンネリングがなく、抽出効率が良い。
6) 機構的にやや複雑である。	6) 複雑な機構が少ない。
7) 抽出機構全体をケーシングで囲むため大型になる。	7) 機内に無駄なスペースがなく、全体的にコンパクトである。
8) 機内の溶剤保有量が少ない。	8) 機内の溶剤保有量が多く、大型装置には不適。

図-4 Bollmann 抽出機

リティー消費量が少ないという長所に加えて、多段向流連続装置の出現により、従来不利だった抽出効率の点も、溶剤を循環することにより浸セキ式に近づけられ、したがって装置の大きさも減小したことにより克服されたためと思われる。

貫流式抽出機で最も古く代表的なものはドイツの Hansa-Mühle Co. が 1919 年に特許を取って発達したタテ型バスケット式の Bollmann 抽出機(図-4 参照)で処理能力が大きく、アメリカ内の数社により採用されている。これに類する装置を多くのメーカーが各種の工夫をこらして製作しているが、アメリカにおいては French Oil Mill Machinery Co. のものが代表的でありタテ型の外角型(中能力)、水平型(小能力)などもある。タテ型バスケット式抽出機は装置の高さが大で最近の貫流式抽出器はほとんど横型となった。Blaw Knox 社の Rotocel 抽出機¹¹⁾(図-5 参照)はバスケット型に比しコンパクトで高性能を有し、アメリカでは大豆 1,800 t/日の大処理

図-5 Rotocel 抽出機

図-6 De Smet 抽出機

図-7 Lurgi 式抽出機 (a) 単式, (b) 複式, (c) セル能力を有するものも稼動しているとのことで、わが国では三菱化工機(株)が取扱い数社で稼動している。De Smet 抽出機(図-6)は 1945 年ベルギーの Jean Albert De Smet の発明による機構的に簡単な水平型ベルトコンベヤー式連続機でヨーロッパなどで多く採用されている。わが国でも 2~3 社で稼動中である。ドイツ Lurgi 社の設計による連続抽出機¹²⁾(図-7 参照)は比較的新しいもので De Smet 抽出機の改良型と見なしうるベルト型に間仕切りを入れた型式のものであるが単式と複式があり複式ではコンベヤーが上下 2 段あり上段で抽出を終った原料は下段に落下しフレック層を崩し、ミセラの不均一接触を防ぎさらに反対方向へ移動しつつ抽出される。間仕切りは上下段とも巧みに兼用できる構造となっている。Lurgi 式も De Smet 式もアメリカではあまり使用されていないがわが国ではかなり注目され 400 t/日くらいまでのものが数社で採用され稼動している。アメ

図-8 Stationary basket extractor

リカ French Oil Mill Machinery Co. の stationary basket extractor¹³⁾ (図-8 参照) は固定層式の連続抽出機で新しい型式のものである。この抽出機は外観は Rotocel 型によく類似しているが原理的には異なり、Rotocel 型が移動層式であるのにこれは固定層式でバスケットは固定され回転しないかわりに各バスケットに対応した外周部が回転し順次原料の供給、ミセラの散布、抽出終了したミールの排出を連続向流に行なえるようになっている。抽出機が大型となったとき、多量の固体を移動する必要がなく有利とのことであるが、構造はかなり複雑である。このほかドイツ Extechnick 社のカラーザル抽出機¹⁴⁾ (これについては後述する) もかなり新しい。この抽出機も Rotocel 型に類似しているが Rotocel 型では底部のスクリーンベッドが各セルに固定しセルとともに回転するのに、この抽出機では底部のスクリーンベッドは抽出機本体に固定し回転せず原料は押されてこのスクリーンベッドの上を滑りながら抽出される構造となっているので、スクリーンベッドは常に原料により掃除され、絶対に目詰まりを起こさず、きわめてよいミセラの振りが得られるという。これらの貫流式抽出機は大豆抽出を主目的としたものが多いが大豆のほか綿実、アマニ、ナタネ、サフラワーなどの高含油種子のプレスケーキの抽出にも広く使用される。ただし微粉末原料または微粉末を多く含む原料については、原料層中のミセラの流れが悪く、チャンネリングなども生じやすいので原料をペレット化し抽出にかけられることが多い。わが国にとり重要な国内産の油脂資源であるヌカは微粉末で含油量も少なくまた小規模であったので従前は浸セキ式(鈴木式、赤松式など)抽出機使用が多かったが、日本精米(株)では貫流式のデスメット改良型抽出機を使用し微粉末のまま連続溶剤抽出を効率よく行なっている。この抽出機は現在2社で稼動中で近い将来また2基建設されるようである。

浸セキ式抽出機の代表とされる Hildebrandt 抽出機(図-9 参照)は Bollmann 抽出機と同じくドイツで発明されたものでドイツおよびアメリカで主として大豆抽

図-9 Hildebrandt 抽出機

出用に、ヨーロッパでは他の原料にも使用されている。Allis-Chalmers Manufacturing Co. および V.D. Anderson Co. の vertical single tube gravity type extractor はアメリカで発明された浸セキ式の代表的なものでいずれも似た形式であるが、V.D. Anderson Co. のものは溶剤回収も含めコンパクトな屋外設置である。

また M. Bonotto の設計になる Bonotto 抽出機(図-10 参照)は同様の型式であるがこの変形である modified Bonotto 抽出機(図-11 参照)は前記2者では原料が回転羽根でかくはんされるのに対し原料を支えているトレーが回転し原料は固定パッフルにより回転がさまたげられトレーのスロットから重力で落ちて行く構造となっている。

図-10 Bonotto 抽出機

Kennedy 抽出機(図-11 参照)は各種の植物種子や薬物など一般に溶剤抽出がむずかしいといわれる原料の抽出に用いられる。このほか水平バスケット型の浸セキ式抽出機として石井式連続抽出機、スクリーンコンベヤー型として Detrex 抽出機、鈴木式連続抽出機(いずれも小能力向)などがある。

貫流-浸セキ併用式としてはドイツ Miag Mühlenban

図-11 Kennedy 抽出機

図-12 MIAG バスケットバンド式抽出機

und Industrie G.m.b.H のバスケットバンド式抽出機 (図-12 参照), アメリカの Southern Regional Research Laboratory, Agricultural Research Service, U.S.O.A. が開発した filtration extraction system¹⁵⁾,¹⁶⁾, わが国の千代田式 L 型連続抽出機などがある。

2.2.2 ミセラ蒸留 (miscella distillation)

ミセラ蒸留装置はミセラから溶剤を加熱蒸発せしめ油と溶剤に分離する装置であるが、ここで重要なことは、(1) 油の品質劣化をさせないこと、(2) 熱利用を効率的に行ない原単位を低下させることであろう。第一の油の品質劣化を防止する方法としては蒸発およびストリッピングの工程を減圧下で行ない油温を 85°C 以下におさえ達しているのが普通である。また第二の目的の実現のためにはミセラ蒸留につき多重効用式の方法 (図-13 参照) を使用するが、カス脱溶剤系からくるペーパーの廃熱を

図-13 ミセラ蒸留装置-二重効用式

図-14 ミセラ蒸留装置-dual evaporation system

利用する方法 (図-14 参照) が普通である。ブローノックス社の設計には前者の方法が多くルルギ、フレンチなどの設計には後者を使用している場合が多い。

2.2.3 抽出カスの脱溶剤 (meal desolventizing)

表-1 に示したように大豆の処理容量の急増に伴いカス脱溶剤設備の重要度が再認識される。

大豆原料の 80% が脱脂大豆カスでタンパク質含量が半分にも達することを思えば当然だろう。

現在連抽カスの脱溶剤設備にはつぎの三とおりの方法が広く行なわれている。

最も古くかつ慣例的な方法はシュネッケンと呼ばれるスチームジャケット付コンベヤーチューブにより脱溶剤する方法である。第二の方式はブローノックスおよびアリスシャルマー社が用いている過熱溶剤ペーパー脱溶剤法 (solvent vapor desolventizing system)¹⁷⁾ である。第三の方法は一般に D.T. と呼ばれる装置で生蒸気を吹き込み脱溶剤すると同時にトースト処理 (toasting) もあわせ行なう水蒸気脱溶剤法¹⁸⁾ (steam-desolventizing system) である。

第一のシュネッケン型は内部にパドルまたはリボンコンベヤーなどのカクハン型輸送機を有するジャケット付横型円筒乾燥機で通常数段の直列組合せ (図-15 参照) で使用され大部分の溶剤はジャケット加熱で脱溶剤され脱溶剤の最終段階で生蒸気を吹き込み小量の残溶剤を除去するもので、ルルギ、デスメット型の抽出装置にはこの型が多い。第二の過熱溶剤ペーパー脱溶剤法 (図-16

図-15 シュネッケン脱溶剤機

図-16 過熱溶剤ペーパー脱溶剤法

参照)とは過熱溶剤蒸気を循環しフレーク中の溶剤にその潜熱を与えこれを蒸発させる方式である。この方法は低温度で脱溶剤できるのでフレークの変質を最小に留められる。この vapor-desolventizer に付随する deodorizer はカスの目的により真空あるいは常圧いずれの方式にもすることができるが、とくに脱脂大豆の場合 vapor desolventizer-vacuum deodorizer 方式により処理されたフレークはタンパク質の熱変性がほとんどないとされており高含量の水溶性タンパク脱脂大豆を目的とするような場合有効のようである。

第三の steam-desolventizing system¹⁸⁾ というのは D.T. 方式と呼ばれる スタック 型の desolventizer toaster (図-17 参照) を使い直接スチームを吹き込み脱溶剤すると同時にトーストする方法である。この方法によ

図-17 Desolventizer toaster

ると溶剤でぬれたフレークは吹き込まれた生蒸気と接触し溶剤とスチームは爆発的に入れ換わり、フレークは脱溶剤と同時に凝縮した水分で均一に加湿され、水分 18~20% となりさらに加熱保持され脱脂大豆中のタンパク質はきわめて均一かつ円滑に変性されるという。またこの装置だと溶剤蒸気が上部へ抜けて回収装置へ行く前に溶剤で湿潤しているフレーク中を通過するので吹き込んだ生蒸気が有効に使用されると同時にガス洗浄が行なわれ簡単な粉末洗浄サイクロンを通すだけでベーパーをミセラ蒸発器の熱源に回収できる。一方フレーク中の有害酵素を失活させ脱脂大豆の消化性や栄養価を改善することができるので飼料用脱脂大豆の需要増大に伴いこの方法の採用が増加しよう。現在わが国ではこの型式の脱溶剤設備が 2~3 台稼動中である。このほか flash desolventizer¹⁹⁾ が報告されているがタンパク質の変性に関しては第二の方法と同程度のようである。

2.2.4 溶剤回収 (solvent recovery)

原料フレークに伴われてまたはその他の箇所から連続抽出装置系内に入った空気は溶剤を伴っているので、できるだけコンデンサー、クーラーで冷し、随伴した溶剤を落したのち、溶剤回収装置に通し残余の溶剤を回収する。この溶剤回収法には、吸収法、吸着法、冷凍法の 3 法があるが、最近の連続抽出装置では、冷凍法、吸収法の使用が多い。

冷凍法というのは溶剤を伴った空気を直接または間接に冷凍しできるだけ溶剤を回収する方法でルルギ社の設計ではブラインによる直接冷却が多く、ブローノックス社でも古いものは間接冷凍が使用されていた。吸収法は特殊な吸収液を循環し空気に伴われた溶剤を吸収塔で吸収しストリッパーで追い出し回収するものであるが、最近すぐれた吸収液の発見により、吸収法が多くなりつつあるようである。

3 カローザル抽出装置 (Carrousel extraction plant)

カローザル抽出装置は、表-4 に示したように貫流式 (percolation type) のセル型円型の抽出機を主体とするもので、抽出機はロートセル型 (Rotocel 型) と同様、セルが水平面上を回転するため構造簡単にしてきわめてコンパクトである。またこの抽出機ではスクリーンベッドは回転せず固定しておりセル中の原料はスクリーンベッドの上を入口より出口まで滑って行きスクリーンベッドは常に原料で自浄される構造となっており、抽出後の原料排出も、スクリーンベッドに設けられた簡単な落下口があり、その落下口から連続的に排出されるので、稼動部分がきわめて少ない。このことは、大容量にして高性能抽出機を約束しており、出現後まだ日新しいにもかかわらず、すでに欧州で 1,200 t/日 の大豆用抽出装置を設計中とのことである。

カローザル抽出装置はドイツのエキステクニク社 W. Depmer の発明によるもので低残油分、高濃度自浄ミセラに特徴を持つカローザル抽出機を主体とし、溶剤損失が少なく飼料用脱脂カス製造に最適である、米国セントラルソーヤ社の desolventizer toaster を含む一連の装置で大豆を初め、綿実、ナタネ、サフラワーなどのエキスペラーケーキの抽出用に広く使用されている。開発後まだ新しいが、すでに欧州には数多くの建設実績を有し、米国セントラルソーヤ社にも実施権を与えている。わが国には 1963 年、野田醤油(株)ヘミソ、ショウ油用を目的とした 20 t/日 の加圧型大豆抽出機が輸入されたが、1965 年 10 月千代田化工建設(株)がドイツエキステクニク社と技術提携を行ない国産化されるに至った。

3.1 原料の前処理

3.1.1 フレークの厚さ

抽出機に供給される原料は一般に圧扁ロールでフレー

ク化されたものを使用する。フレークの厚さを薄くすれば抽出時間は短くなり抽出機の大きさも小さくなるが、圧扁ロールの性能、抽出カスの用途、フレークの物理的強度など考え、大豆の場合には0.3mmを標準としている。大豆フレークの抽出カスを醸造用に使用するような特殊な場合には、できるだけフレークの形を残すことが要求されるので、0.3mmより厚いフレークを原料とするが、この際の厚みと抽出時間は、前処理工程に述べた Coats および Wingard の式⁷⁾により決めている。

3.1.2 フレーク中のファインの量

フレーク中のファインの量は、原料層のミセラ貫流特性を悪くすると同時に、チャンネリングを起こす原因となり、抽出カスの残油率に悪影響を有するので、大豆の場合は通常、ファインに対する制限規定を下記のとおり決めている。すなわち、

- フレークの厚さは 90% 以上が規定の厚さ以下であること。
- ファインの量は 0.4mm のフルイを通過するものが 10% 以下であること。

3.1.3 フレークの温度

抽出機に供給されるフレークの温度は前処理工程との関係もあり普通 50-60°C である。

3.2 カローザル抽出機 (図-18 参照)

3.2.1 カローザル抽出機の構造

カローザル抽出機は堅形円筒形の気密構造の本体シェルと、内部に回転するセクショナルローター、セクショナルローターの底部をなし本体シェルに固定されているシーブボトム、本体シェルの底を垂直のパッフルにより数個の画室に仕切られて形成されるミセラ集合部、最適の抽出が得られるように溶剤を原料層の上に散布するミセラディストリビューターおよびローター駆動部によりなる一段の抽出ユニットを目的に応じ 1~多段階

みかさね使用するものである。

内部を回転するセクショナルローターはフレークが充填される所で、ローター上部に取り付けられたチェーンにより全体が駆動され、無段減速機により30-240 minで1回転するように調節できる。ローターは内筒および外筒よりなりその間を仕切り板にて区切り十数個のミセラ循環のためのセルを設けていて、仕切板の下端にはナイロン製のブラシが取り付けられローターの回転とともに、底のシーブボトムが清掃されるようになっている。内筒にはシャフトが取り付けられ、ベヤリングを介して本体に支持されている。底部のシーブボトムは本体に固定され、ローターとは分離された構造である。シーブボトムはウェットミールからミセラを完全に振切る役目のもので、ステンレス鋼製のウエッジワイヤスクリーンで、ウエッジワイヤーの各断面はクサビ形をなし、ミセラの振切り、目詰りを防いでいる。また配列は内外筒と同心円をなし、原料がその上を円滑に動くようになっている。原料が抽出機に供給されセルに充填されると、ローターの駆動によって、押され、シーブボトムの上を入口側から出口側へ、各段の抽出を受けながら滑り、一回転近く運ばれて出口に至り排出される。出口は簡単な落とし口に過ぎないが押し出し式だから順序よく連続的に下段の抽出ユニットまたは排出コンベヤーに落とされる。こうして抽出の終わった抽出カスは抽出カスエレベーターで、D.T. (desolventizer toaster) に運ばれる。

ミセラ集合部の各室はそれぞれ各段階の抽出操作を形成し、各段のステージポンプで、その室のミセラをミールの移動方向と反対の方向のつぎのステップのミセラディストリビューターに送り、原料層の上に散布する。原料層を貫流し、シーブボトムより落ちたミセラは下部のミセラ集合部にたまる。

このように抽出はいわゆる向流方式で行なわれ、新溶剤はミールの最終ステップで供給され、油濃度の最も高いミセラはミールの投入段階近くで得られフルミセラとなってただちにセッティングタンクに送られる。フルミセラの濃度は通常25~35%である。このほか本体シェルには各部に大きなワイパー付きサイト・グラスが設けられ、また照明度の高いライトグラスが装備され、内部の運転状況を完全に管理できるとともに保守を容易にしている。

この抽出機とロートセル型抽出機のおもな相違点は、ロートセル型のセル構造ではセルとスクリーンベッドが一体をなしており、同時に回転するの、この抽出機では、上述のように、スクリーンベッドは本体シェルに固定され、セルと切り離され、セルだけ回転し、原料は、セルに押されスクリーンベッド

図-18 カローザル抽出機

の上を滑っていく構造であることおよび抽出カスの排出がロートセル型のようにヒンジ式ではなく、スクリーンベッドに単に落し穴が設けられているだけの構造となっている点である。

以上のようにカラーザル抽出機は、パーコレーション型の理想的な向流連続抽出機である。

3・2・2 カラーザル抽出機の特長

カラーザル抽出機の特長をあげれば下記のとおりである。

1) 上記のように、構造が簡単でかつコンパクトであり、回転部分はローター軸だけで、他の抽出機のように底部を支えるローラーやレールも不要であるため、全体的に機械部品が少なく保守がきわめて容易でまた所要動力も僅小である。したがって抽出機の価格も廉価である。

2) シーブボトムは同心円型のステンレス製ウエッジワイヤースクリーンで作られており、原料フレークは、ローターの駆動に伴い押され、このシーブボトムの上を滑り入口側から出口側へ順次運ばれるため、シーブボトムはフレークの移動に伴い、フレーク自体により掃除され、目詰まりを生ずることがない。したがってミセラのフレーク層貫流特性がよいので抽出効率がよくまたミセラの振切りもよい。

3) この抽出機はきわめてフレキシブルな運転が可能である。すなわちローターの回転速度の調節およびフレークベッドの層厚を任意に変更することにより、運転条件を自由に変更することができる。とくに雑穀のプレスケーキなどファインを多く含むものは、ミセラの貫流抵抗が大きくまたチャンネリングを生じやすいがこのような原料に対しても、フレーク層厚を薄くしミセラの貫流量を多くすると同時に、このような際には2段階型抽出機を使用し上部より下段の抽出ユニットに、フレークを落とすことにより、フレーク層を崩し、フレークに均一に溶剤がかかるようにし、ほとんど完全に抽出することができる。

4) 将来、キャパシティーアップする場合でも同じ抽出ユニットを上積みするだけで可能である。

3・2・3 抽出カス脱溶剤装置

カラーザル抽出機より、排出された抽出カスは、米国セントラルソーヤ社のライセンスにより製作される。スタック型の desolventizer toaster (図-16 参照) に運ばれ、上部のケトルに供給され、順次下部へ落とされて行く過程で、直接吹き込まれる生蒸気と接触し、完全に脱溶剤されると同時に液体溶剤と入れ換わって凝縮したスチームで均一に調湿加熱され飼料用に最適なミールとして取り出される。一方加熱蒸発された溶剤ベーパーとスチームの混合ベーパーは、サイクロン型のベーパー洗条器で、随伴するデンプン末を洗い落としたのち、ミセラ蒸留系へ送られる。最近飼料用ミールの需要の伸び

が大きく、大型の抽出装置は、いずれも、本型式の D.T. (desolventizer toaster) が使用されようとしている。カラーザル抽出装置もミソ、ショウ油または豆腐原料などの脱脂大豆を要求される場合には、これとは違った desolventizer を個々の場合にに応じて使用するようになっている。

3・2・4 ミセラ蒸留装置

カラーザル抽出機より出た、フルミセラはミセラデカンターで、随伴のファインを除去したのち、ミセラフィルターを経て、ミセラタンクに送られ、ミセラタンクからヘッドにより第1蒸発カンに送られ 40~60% まで濃縮される。第1蒸発カンの熱源には、カス脱溶剤系からくる waste vapor が使用され、熱回収することによりスチーム、冷却水原単位の低下に寄与している。第1蒸発カンから出たミセラは第2蒸発カンでスチーム加熱により濃縮された後、オイルストリッパーで完全に脱溶剤される。第1、第2蒸発カン、オイルストリッパーはいずれも減圧下で操作され、低い温度ですみやかにソルベントを蒸発させ、油の品質劣化を防止している。第1、2蒸発カンはいずれも薄膜上昇型を使用している。

3・2・5 溶剤回収装置

本装置の溶剤回収装置としては、吸収法を採用している。吸収法の採用は、きわめて吸収力の大きいミネラルオイル (エキゾーバーオイル) の発見に基づくもので、本方法の採用により溶剤損失を極小にしている。

3・2・6 装置の所要面積

抽出機はもちろん、装置全体がきわめてコンパクトで、所要面積、建家が従来に比し、非常に小さい。一例を下記に示す。

大豆処理量	抽出機の大きさ	建家の大きさ
t/日	直径×高さ (m) (m)	巾×長×高 (m)(m)(m)
100	3.0× 6.0	6× 8×10
200	4.5× 9.0	6×12×11
500	6.0×13.0	8×15×16

上記の建家は、抽出機、ミセラ蒸留装置、溶剤回収装置が入るものである。

3・2・7 運 転 員

通常一直当たり一人である。

3・2・8 装置の保証

カラーザル抽出装置は a) 項に示した前処理条件下で、かつ飼料用の脱脂大豆を作るとして、運転値および保証値は下記のとおりである。

	運転値	保証値
1) 残 油 率 (フレーク厚み 0.3 mm において)	0.4-0.5%	0.5%
2) 溶 剤 損 失 2-3 kg/大豆フレーク t 当たり	3.0 kg/大豆フレーク t 当たり	
3) 蒸気消費量 240-260 kg/大豆フレーク t 当たり (7 kg/cm ² g 飽和 スチーム)	260 kg/大豆フレーク t 当たり	

ただし抽出カスの NSI は 15 ± 5 とする

- 4) 電力消費量 6-10 kW・hr/大豆フレーク t 当たり 11 kW・hr/大豆フレーク t 当たり
- 5) 冷却水 (下記の 3 case のいずれかとする)
- 5)-1 工業用水 (20°C)
	10-15 m ³ /大豆フレーク t 当たり	25 m ³ /大豆フレーク t 当たり
- 5)-2 冷水塔水
(補給水	0.5 m ³ /大豆クレーク t 当たり	1 m ³ /大豆フレーク t 当たり
	電力 3-4 kW・hr/大豆フレーク t 当たり	5 kW・hr/大豆フレーク t 当たり
- 5)-3 空気冷却 コンデンサー
(冷却水	0.1 m ³ /電力大豆フレーク t 当たり	0.2 m ³ /大豆フレーク t 当たり
	電力 3-4 kW・hr/大豆フレーク t 当たり	5 kW・hr/大豆フレーク t 当たり

(昭和 42 年 2 月 8 日受理)

文 献

- 1) “油脂”
- 2) A.E. Bailey “Industrial oil and fat products” ch. 15 (1951)
- 3) K.S. Markley “Soybeans and soybean products” vol. 1 ch. 12, 13 (1950)
- 4) A.E. Bailey “Cotton seed and cotton seed products” ch. 5, 13 (1948)
- 5) 平田, 城塚 “抽出工学” p.357 (1964) 日刊工業新聞
- 6) 渡辺治男, 油化学, **12** (10), 549 (1963)
- 7) M.R. Wingard, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **36**, 483 (1959)
- 8) G. Karhofskey, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **26**, 570 (1949)
- 9) 玉置, 浜井, 新化学工学講座 “固体抽出”
- 10) H.P. Kaufmann, *Neuzeitliche Technologie der Fette und Fetteprodukte*, 4 Lieferung. Aschendorffsche verlagsbuch handlung Münster westf.
- 11) 高坂, ケミカルエンジニアリング, **7**, 1 (1961)
- 12) 矢野, 化学工学, **21**, 241 (1957)
- 13) R.P. Hutchins, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **37**, 674 (1960)
- 14) H.P. Kaufmann *et al.*, p.607, *Neuzeitliche Technologie der Fette und Fettprodukte* 4, Lieferung Aschendorffsche verlagsbuch handlung Münster westf.
- 15) E.A. Gastrock *et al.*, *Ind. Eng. Chem.*, **49**, 920 (1957)
- 16) A.V. Grain *et al* *J. Am. Oil Chemists' Soc.*; **30**, 139 (1953); *ibid.*, **31**, 606 (1954); *ibid.*, **32**, 361 (1955); *ibid.*, **33**, 645 (1956); *ibid.*, **36**, 454 (1959); *ibid.*, **38**, 44 (1961)
- 17) *U.S.*, 2,571, 143; *U.S.*, 2,691, 830
- 18) Endre Sipos, N.H. Witte, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **38** (3), 11-19 (1961)
- 19) G.C. Mustakas, L.D. Kirke *et al.*, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **39**, 222 (1962)

書 評

“Progress in the Chemistry of Fats and other Lipids” Volume 8

Editor, Ralph T. Holman

Pergamon Press (全 436 ページ)

このシリーズはすでに定評のあるところであるが、その第8巻はつぎの7篇を収録する。Phospholipids and Biomembranes と題して L.L. van Deene によって関係文献 528 をあげた詳細な論説であり、ついで最近のカロチノイド化学の進歩について Synnøve Liaaen-Jensen, Arne Jensen によってカロチノイドの分離、機器分析を中心にした諸性質および合成方法に関して 358 の文献をあげて総説している。以下の5篇は脂質の分析方法に関するもので C.Y. Hopkins が脂肪酸の構造解析を中心にして NMR の基本的な応用を、John S. Showell が分子の異性体を含む立体構造、特定結合と IR 吸収との関係ならびに偏光 IR および水素結合に関してそれぞれまとめ、もっとも一般的な TLC 分析について Donald C. Malins が 211 の文献をあげて脂質一般の基本的成分の同定より、複雑な組成をもつものの定量、GLC やその他の機器分析との組合せなどについて総説し、James G. Hamilton がペーパークロマトグラフィーについて、最後に Robert A. Stein, Vida Slawson が文献 236 をあげてカラムクロマトグラフィーに関して分別の対象となる脂質と、吸着剤と溶媒との組合せについてそれぞれ解説する。本書に収録せられる各篇はいずれもが豊富かつできるだけ新しい文献を引例として、相当の分野で著名な学者によってまとめられたものであり、日頃ともすればスポット的になりやすい知見に明確な指針と筋のとおった概観とを与えてくれるものであろう。本書の冒頭にはとくに編集者 Holman が偉大な足跡をのこされた T.P. Hilditch 教授をしのび本書をささげる旨の一文を寄せ、写真ならびに F.D. Gunstone による業績の紹介が掲載せられる。Hilditch 教授の記念出版という意義においても本書は価値あるものである。

(前橋和友)